

Vorlesung: Einführung in die Robotik

Prof. J. Zhang

zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg

Fachbereich Informatik

AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

27. Januar 2005

Inhaltsverzeichnis

8. Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung	504
Potentialfeldmethode	.504
Probabilistische Ansätze	.509
Anwendungsgebiete	.522
Erweiterungen des Basisproblems	.533
Zusammenfassung	.537

Potentialfeldmethode: Grundideen

Potentialfeldmethode wurde ursprünglich für echtzeit Kollisionsvermeidung entwickelt.

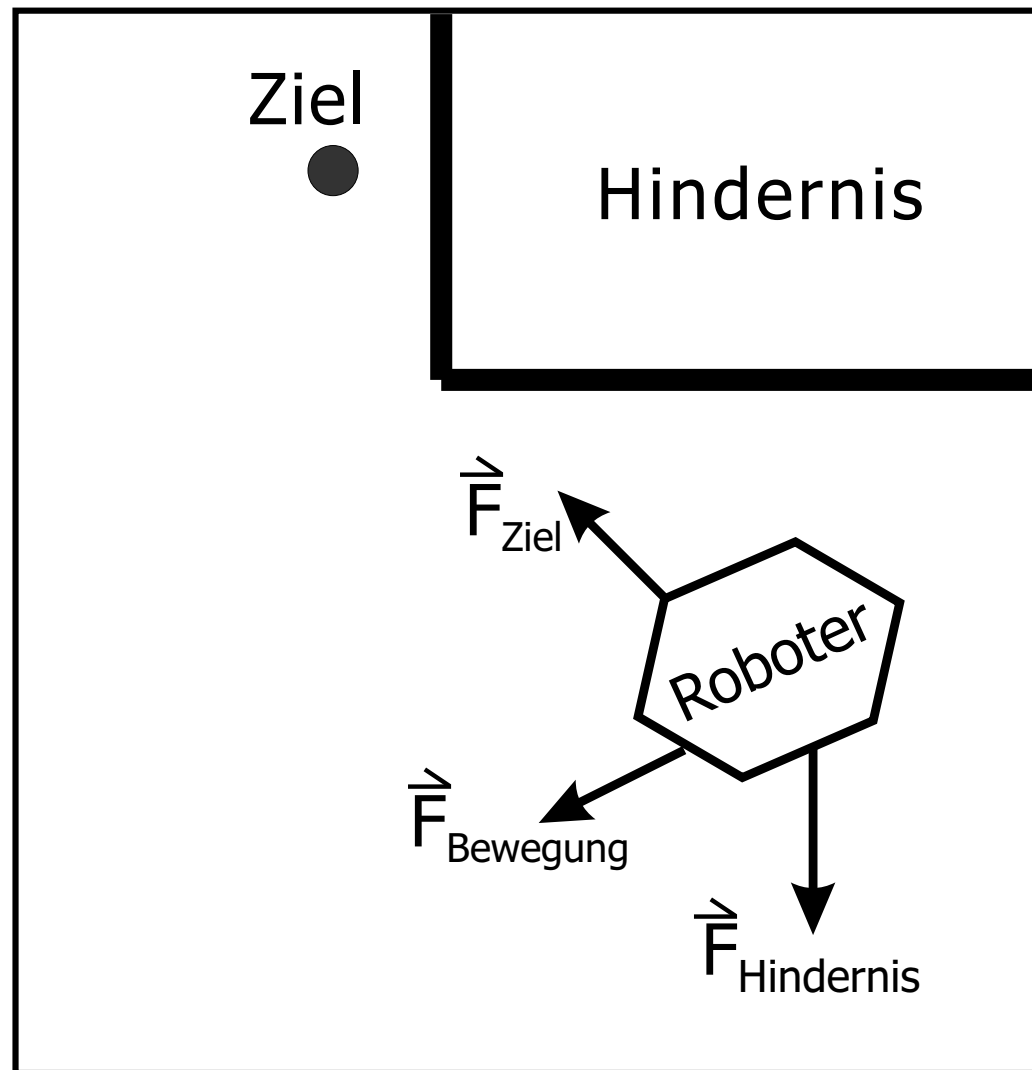
Ein Potentialfeld ist eine Skalar-Funktion über den Freiraum.

Ein ideales Field als Navigationsfunktion soll glatt sein, und nur ein globales minimum am Ziel haben, und unendlich in der nähe eines Hindernisses werden.

Die auf den Roboter geübte Kraft ist der verneinte Gradient des Potentiellen Fieldes.

Die Roboter bewegt sich immer entlang dieser Kraft.

Eine Funktion über den Freiraum wird definiert, welche ein globales Minimum an der Zielkonfiguration hat. Die Bewegung soll entlang der steilsten Abstiegsrichtung bestimmt werden.



Die anziehende Kraft:

$$\vec{F}_{Ziel}(\mathbf{x}) = -\kappa_{\rho}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{ziel})$$

Das Potentialfeld:

$$U(\mathbf{x}) = \begin{cases} \frac{1}{2}\eta\left(\frac{1}{\rho(\mathbf{x})} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2 & \text{wenn } \rho(\mathbf{x}) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die abstoßende Kraft:

$$\vec{F}_{Hindernis}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \eta\left(\frac{1}{\rho(\mathbf{x})} - \frac{1}{\rho_0}\right)\frac{1}{\rho(\mathbf{x})^2}\frac{d\rho(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} & \text{wenn } \rho(\mathbf{x}) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{wenn } \rho(\mathbf{x}) > \rho_0 \end{cases}$$

(Khatib 86)

Potentialfeldmethode: Vor- und Nachteile

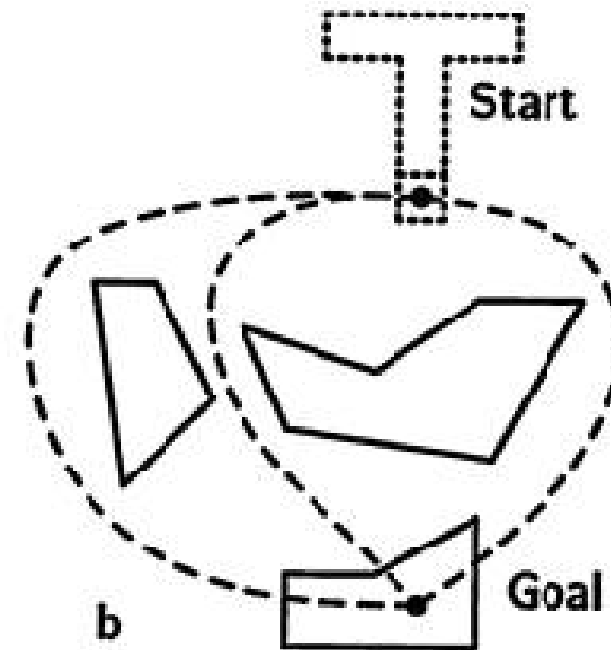
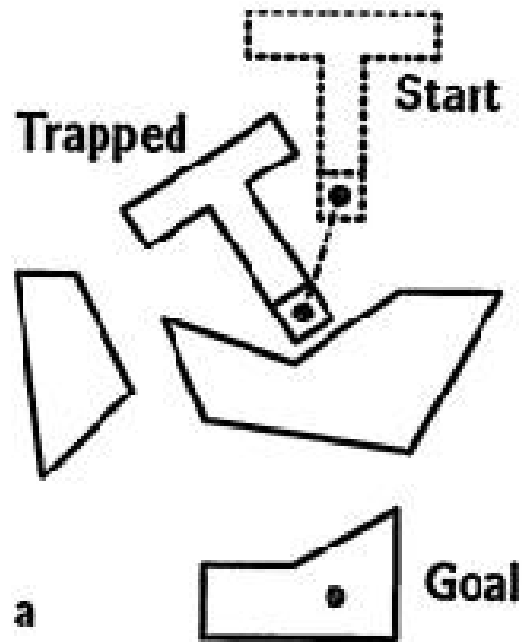
Vorteile:

- Nutzung von Heuristik
- Echtzeit-Eigenschaft

Zwei grundsätzliche Nachteile:

- Sie kann nicht garantieren, daß eine Lösung gefunden wird, wenn sie existiert, oder die Berechnung aufhört, wenn es keine Lösung gibt.
- Sie kann keine weiteren wichtigen Randbedingungen in sich aufnehmen.

Potentialfeldmethode - Lokale Minima



Probabilistische Ansätze

Der Bedarf an einem effektiven, d.h, schnellen, robusten, leicht zu implementierenden Berechnungsframework zur Planung Roboterbewegungen mit einer großen Anzahl von Freiheitsgraden

Ideen:

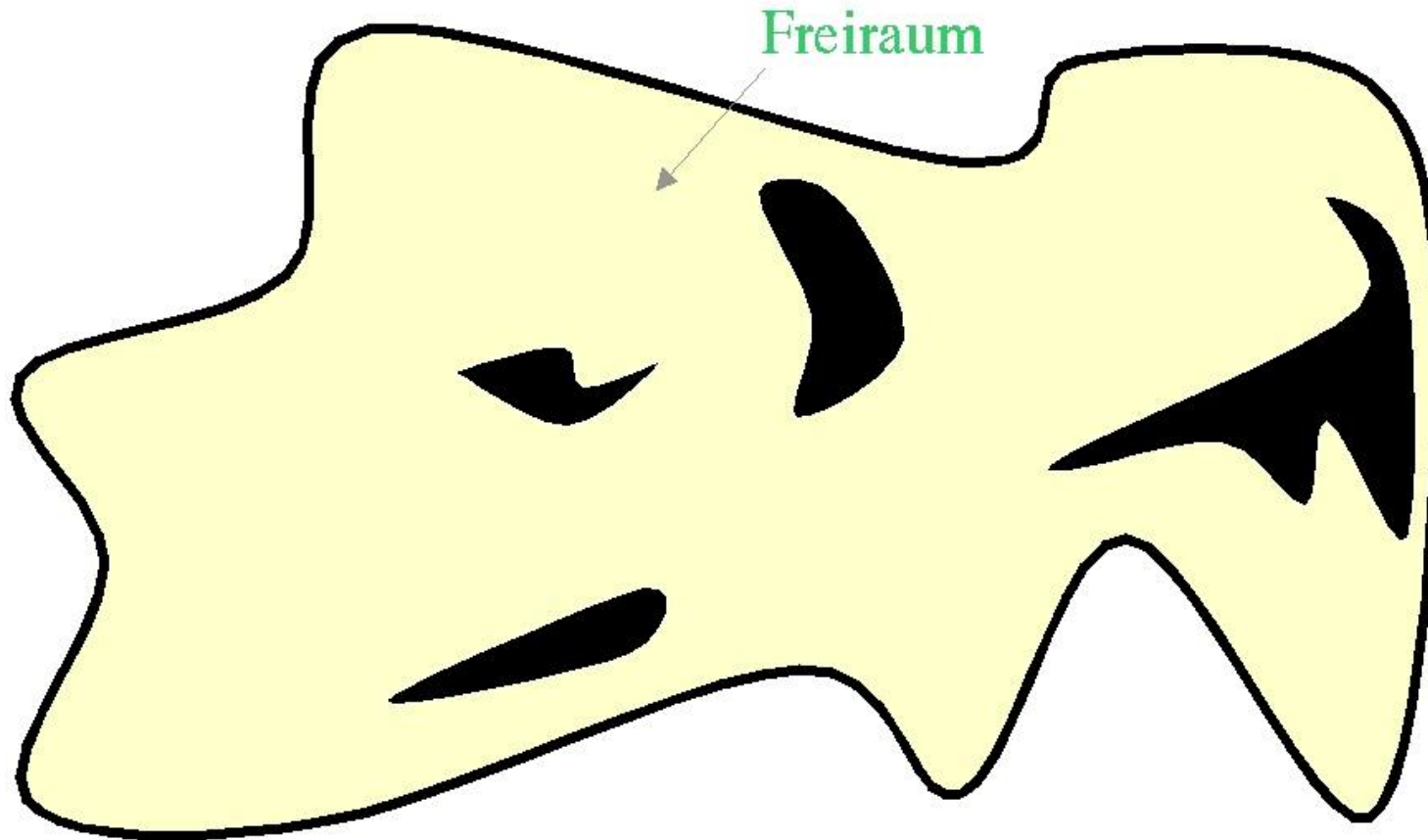
1. zufällige Stichprobe im Raum des Interesses
2. Gewähre Kollisionsfreiheit der Stichproben
3. Verbinde Stichpunkte über einfache Bahnen
4. Suche in dem entstandenen Graphen

Motivation:

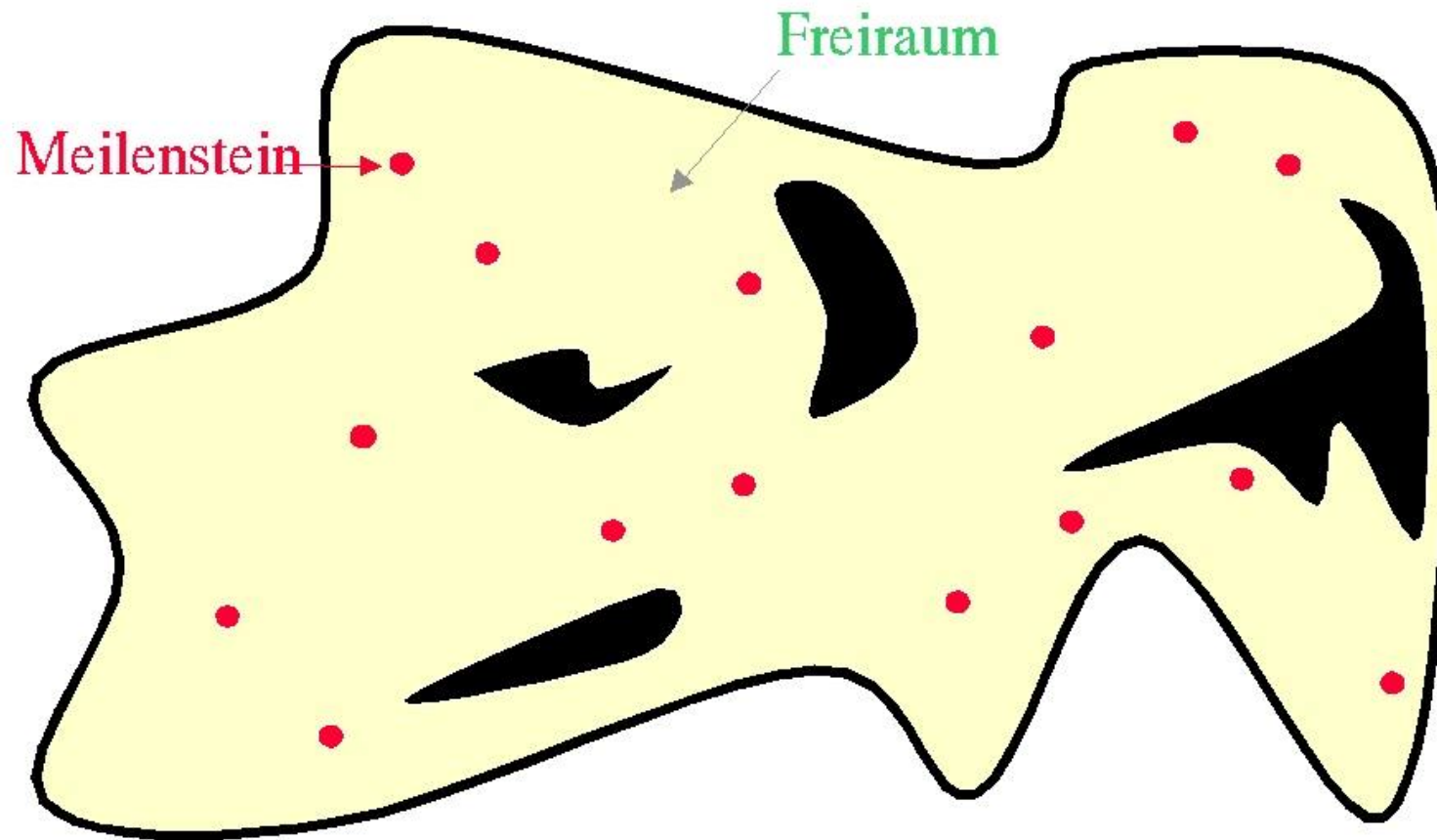
Die Kollisionsdetektion sowie Abstandsberechnung sind schneller als die Erstellung einer expliziten Repräsentation des Freiraums

⇒: Probabilistische Straßenkarten (Barraquand, Kavraki & Latombe)

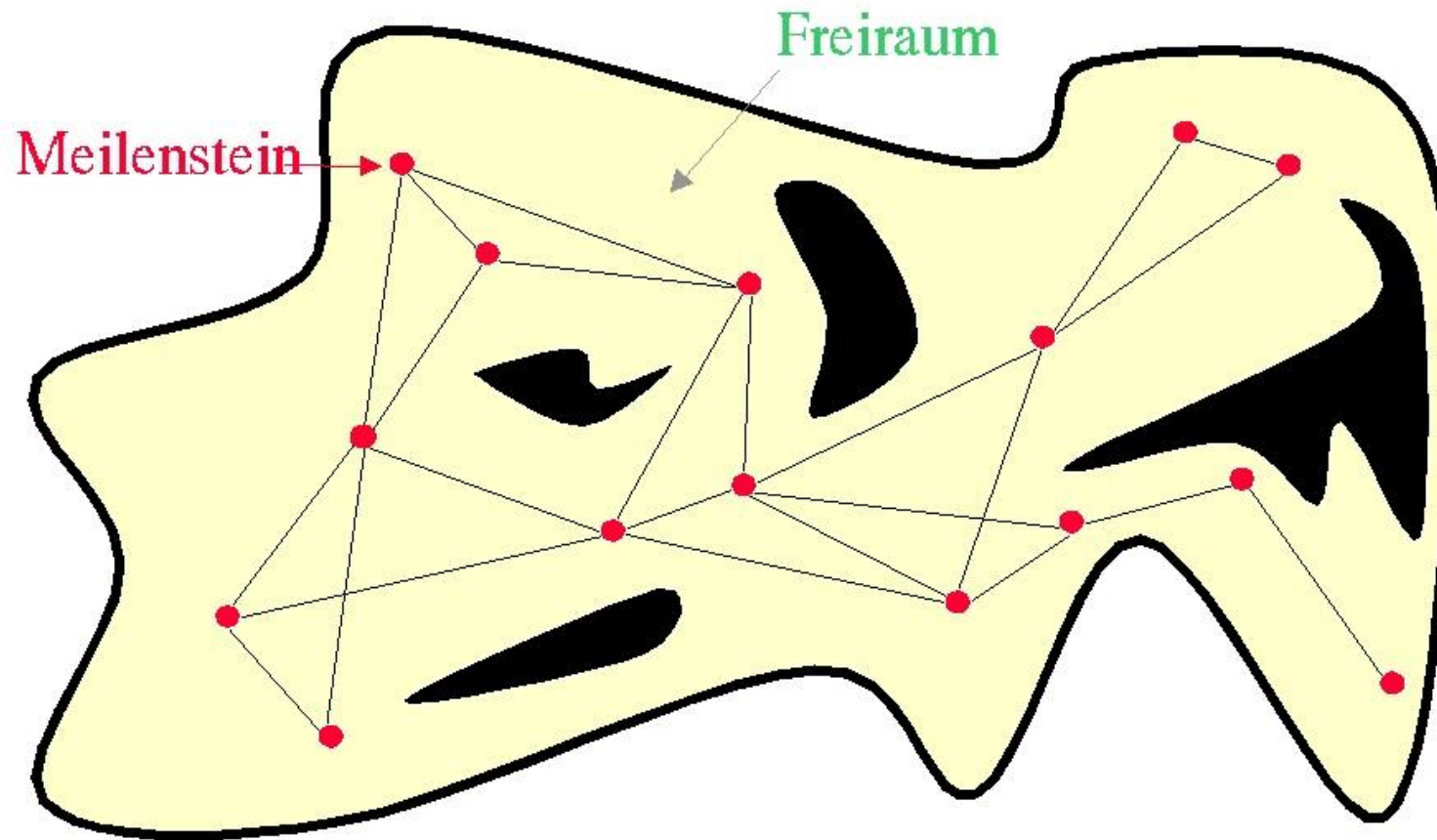
Meilensteine und Straßenkarte - I



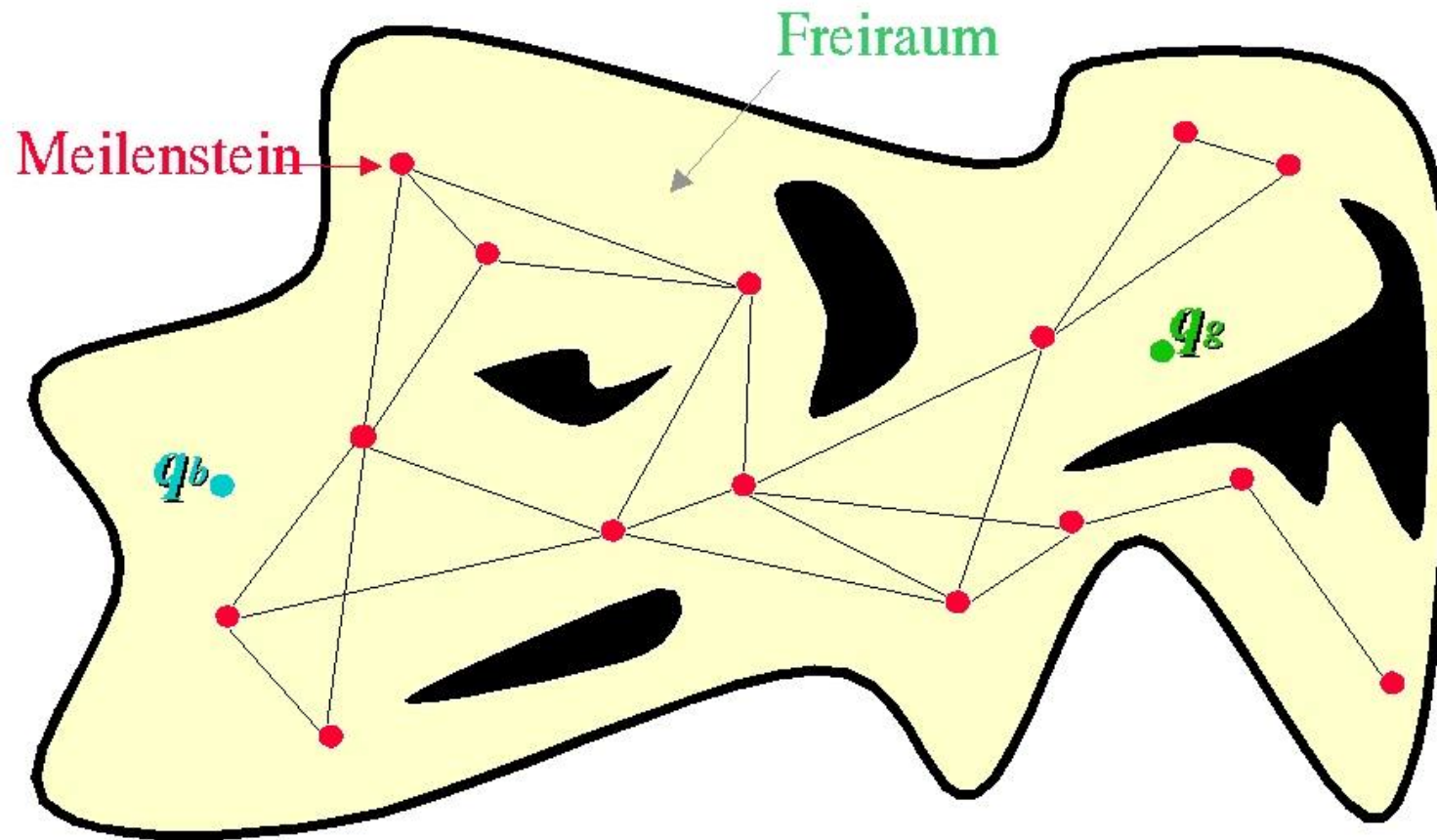
Meilensteine und Straßenkarte - II



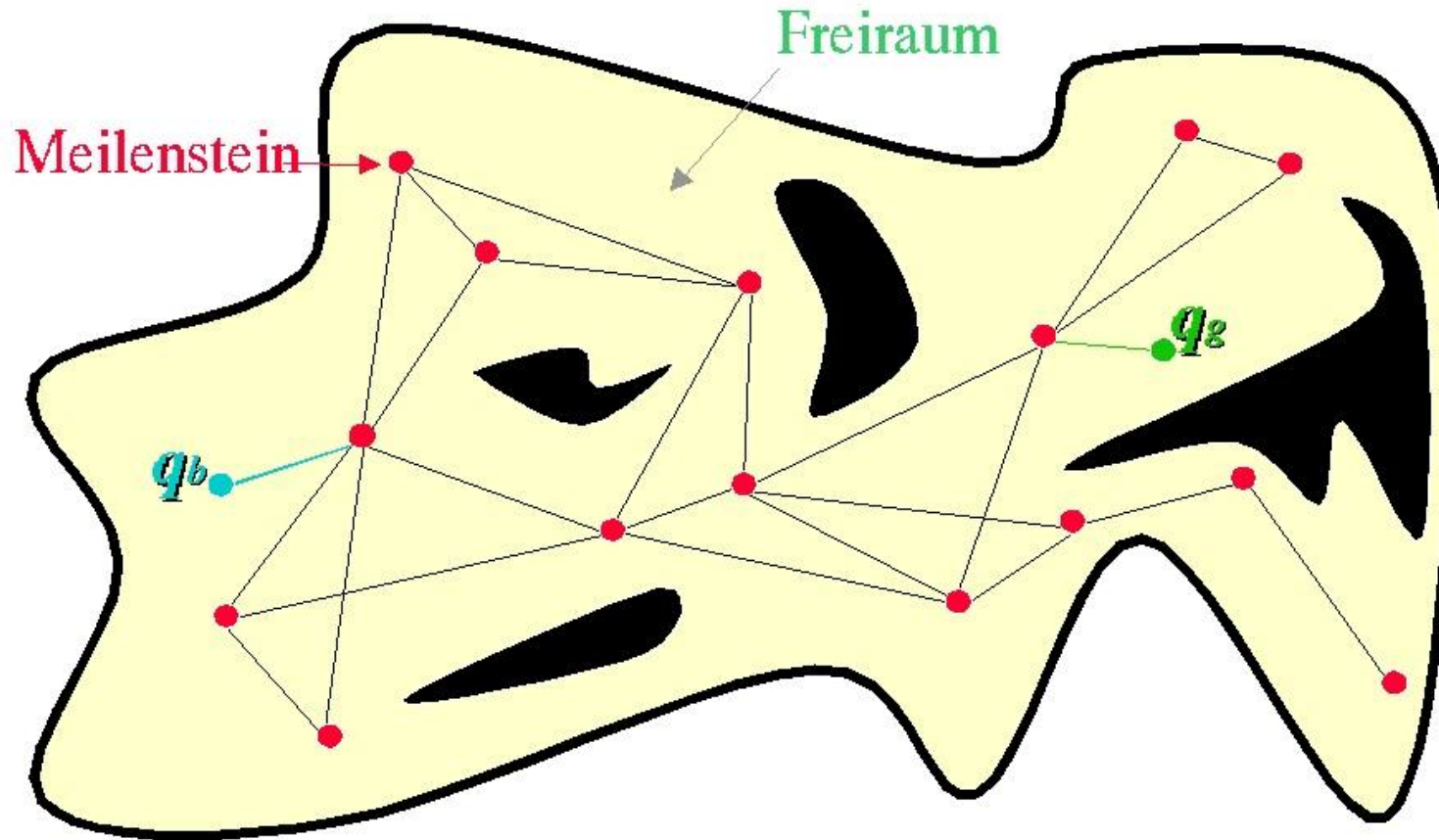
Meilensteine und Straßenkarte - III



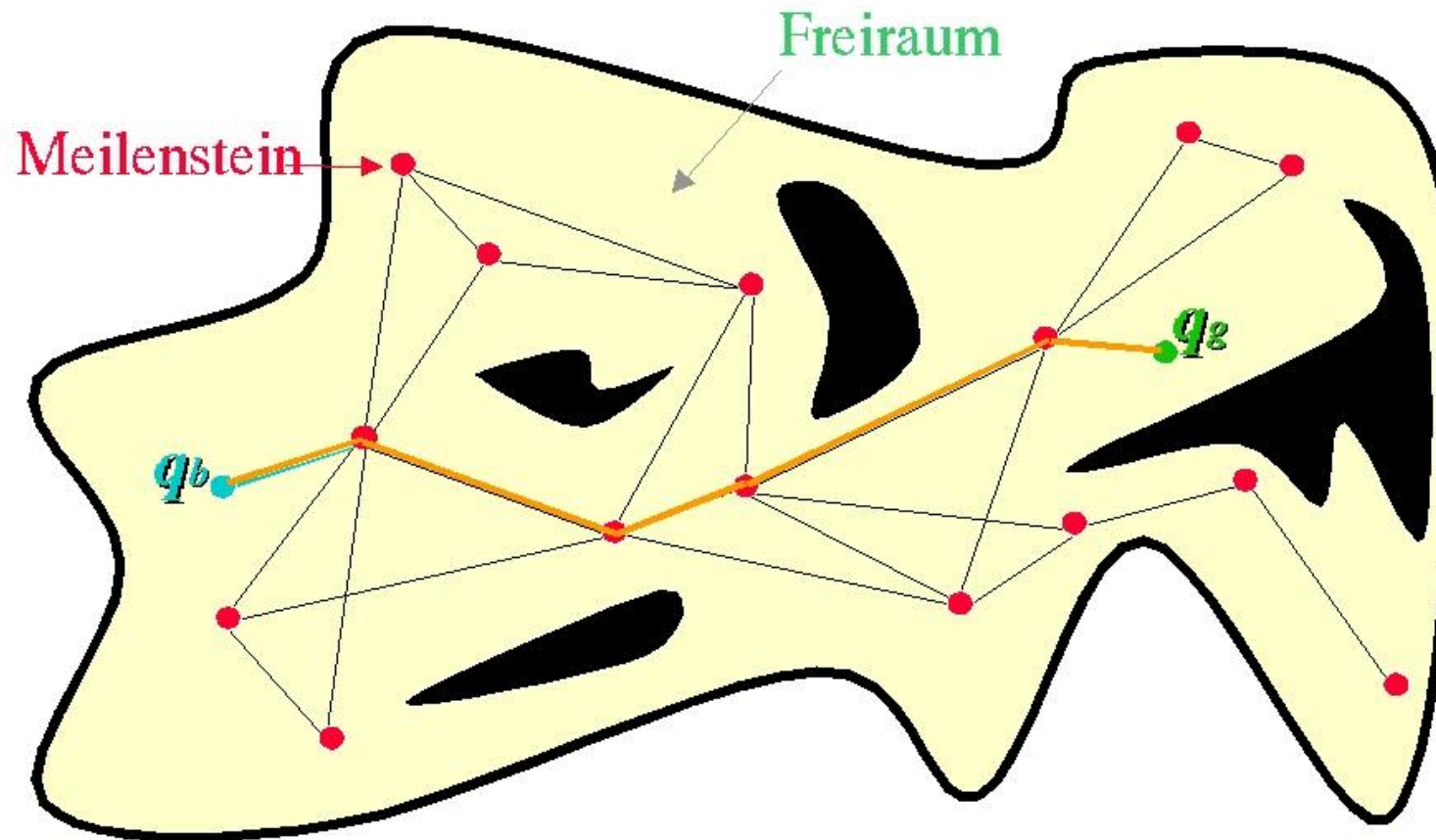
Meilensteine und Straßenkarte - IV



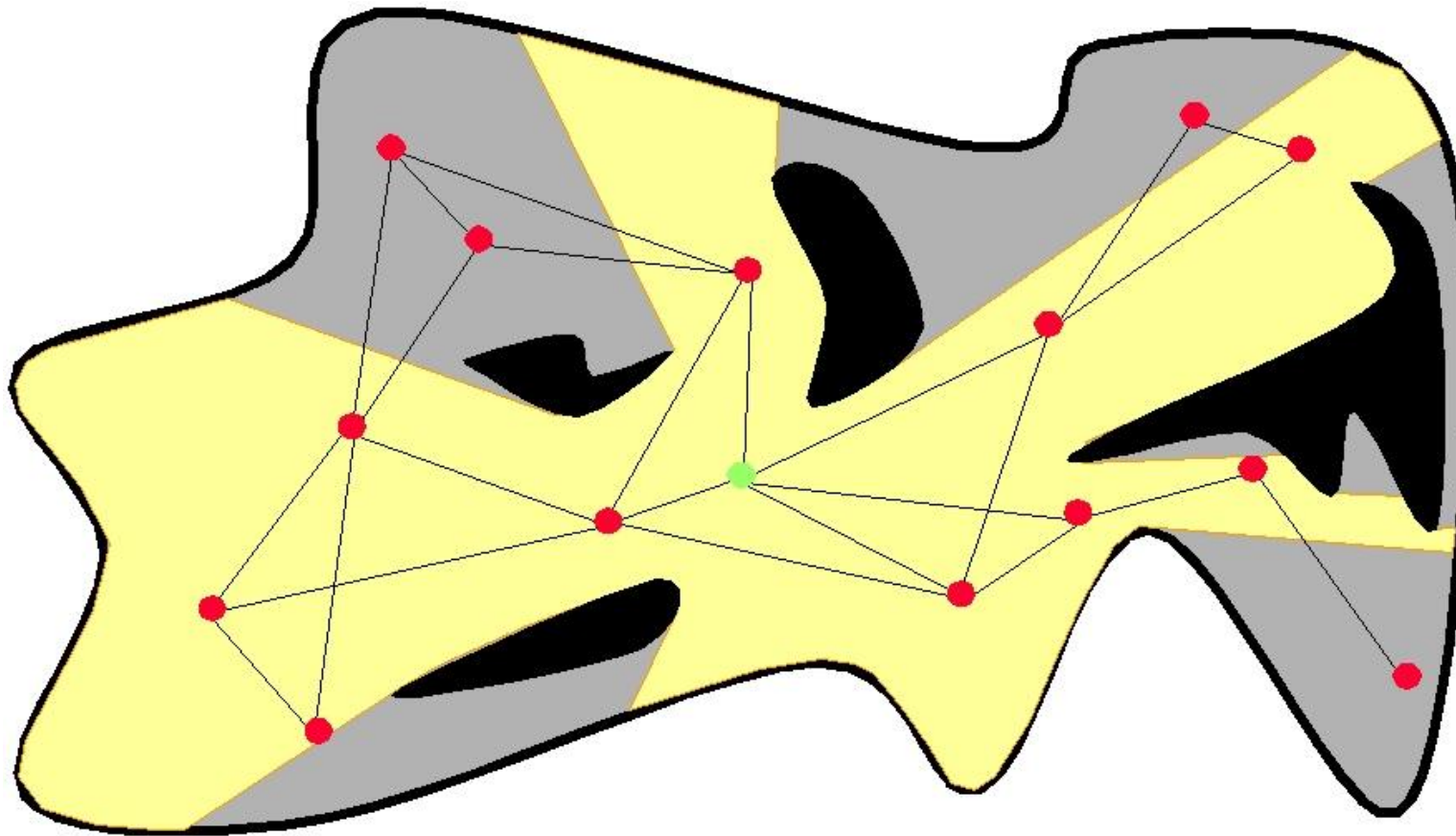
Meilensteine und Straßenkarte - V



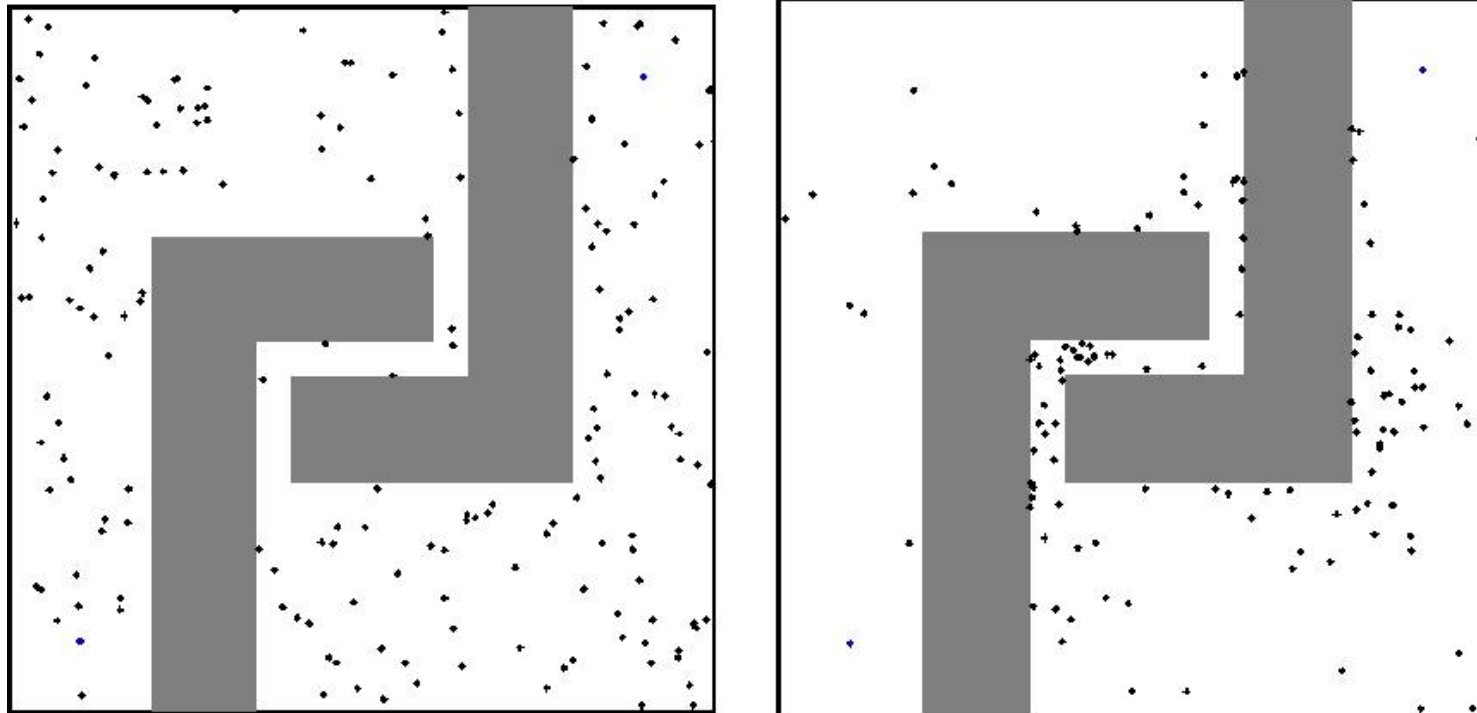
Meilensteine und Straßenkarte - VI



Übereinstimmung mit dem Kunstgalerie-Problem



Prozess der Stichprobe



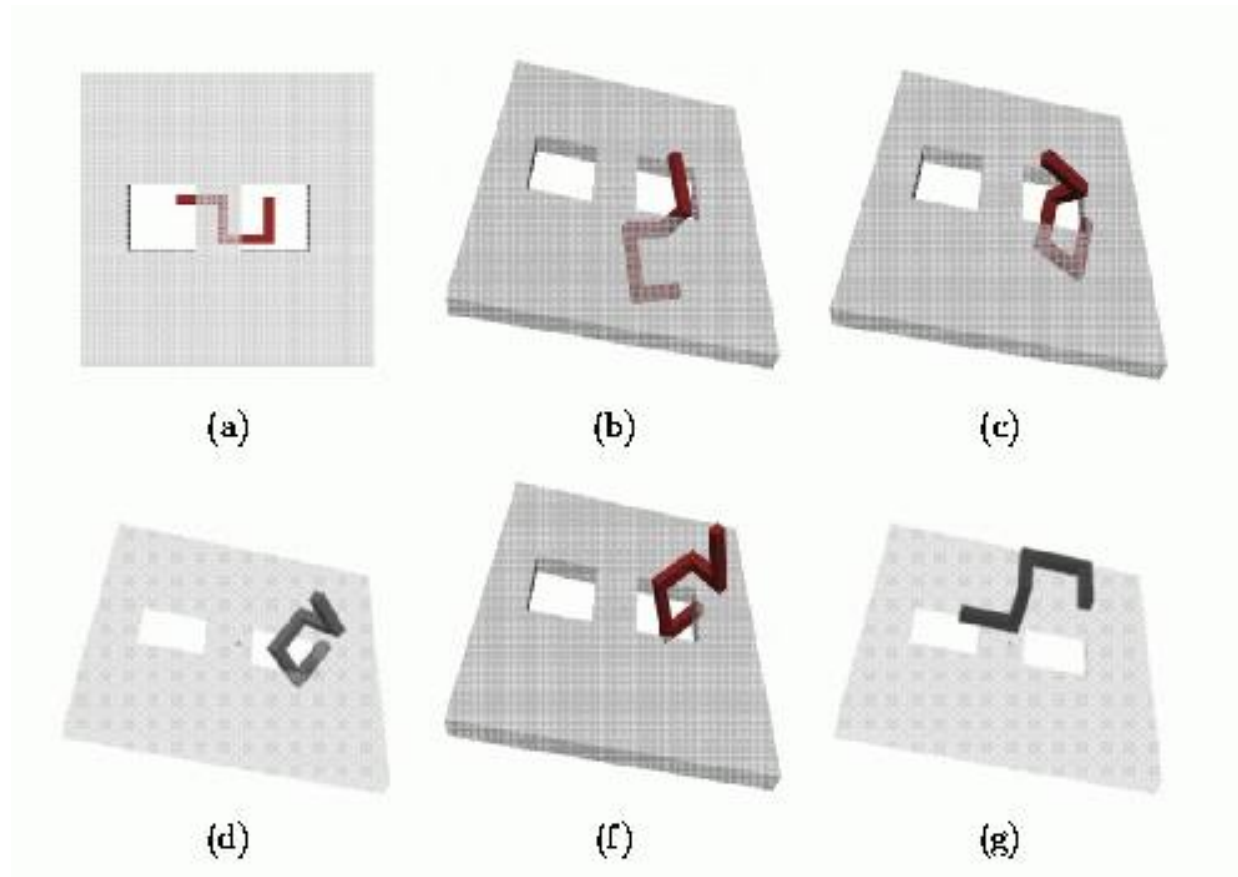
In einem *expansiven* Freiraum: $Prob[Fehlschlag] \sim \exp(-N)$ wobei N :
die Anzahl der Meilensteine

Strategien der Stichprobe

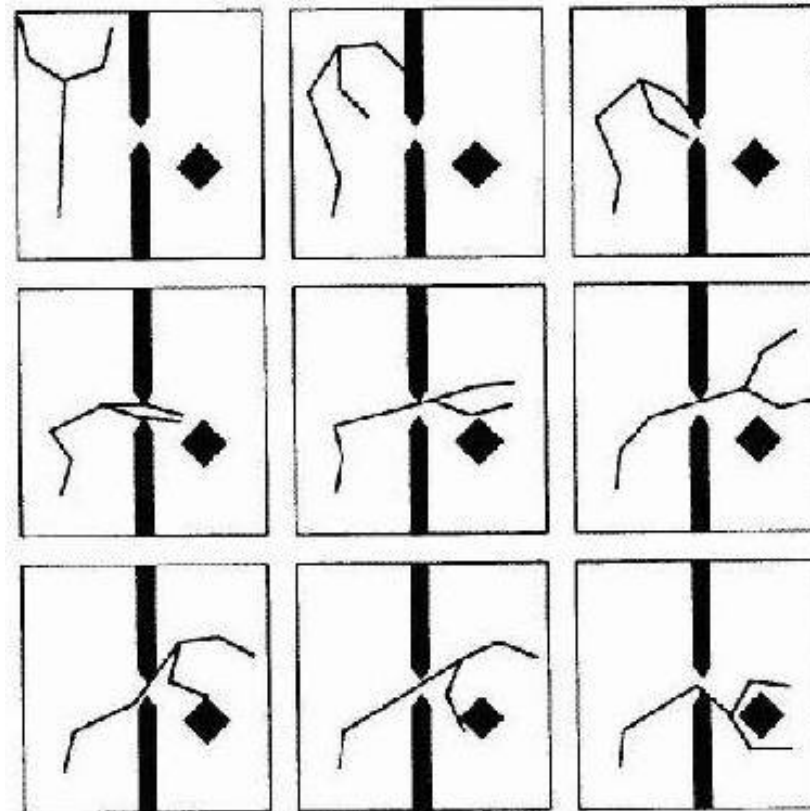
99% der Zeit eines auf Probabilistischen Straßenkarte basierten Planers wird für Kollisionsprüfung verwendet. Kann eine kluge Strategie die Größe einer Straßenkarte reduzieren, und gleichfalls die Zeit für die Kollisionsprüfung?

- uniform
- multistufig (grob zu fein)
- Hindernis-empfindlich (schiebe nichtfreie Stichproben in den Freiraum)
- “lazy” Kollisionsprüfung
- probabilistische Grundwerte

Erfolgreiche 6D Planung bei einer engen Passage



Planungsergebnis für ein mehrgelenkiges Artefakt



Zusammenfassung der probabilistischen Ansätze

Nachteile:

- nicht vollständig – kein strenges Abbruchkriterium, wenn keine Lösung gefunden wird
- Fehlender Einblick in den Planungsprozeß

Vorteile:

- einfach zu implementieren
- schnell, skalierbar für Probleme mit vielen Freiheitsgraden

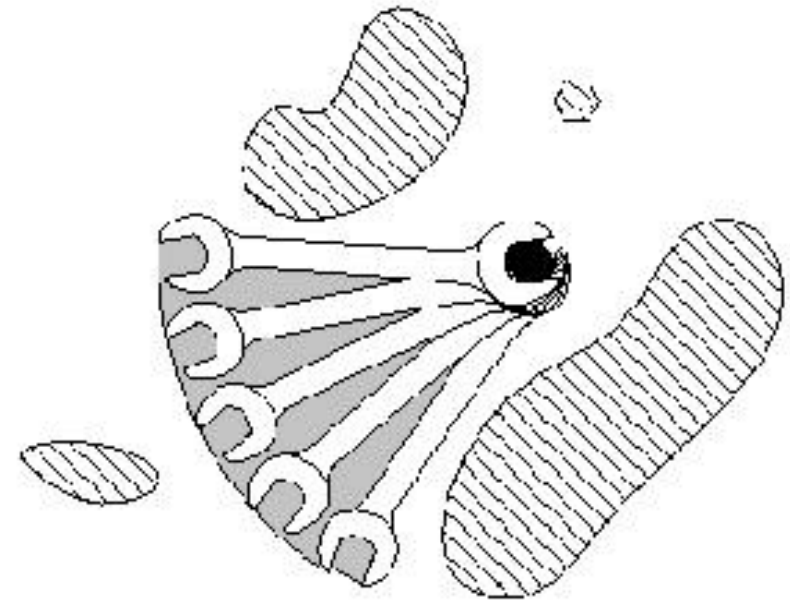
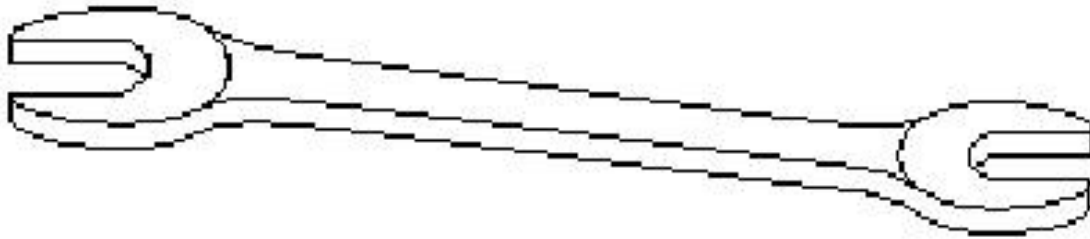
Anwendungsgebiete

- Fertigung: Roboterprogrammierung, Montage, Layoutplanung
- Sequenzgenerierung für Wartungsaufgaben
- Autonome mobile Roboter
- Graphische Animation
- Bewegungsplanung in der Medizin
- Generierung von realistischen Bewegungen von Zellen bzw. Molekülen
- ...

Anwendung: Montageplanung

Basierend auf einem Bahnplaner kann die Komplexität eines Produktes gemessen werden. Der Montagevorgang kann mitgeplant werden.





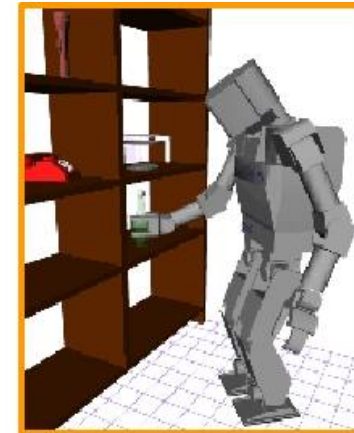
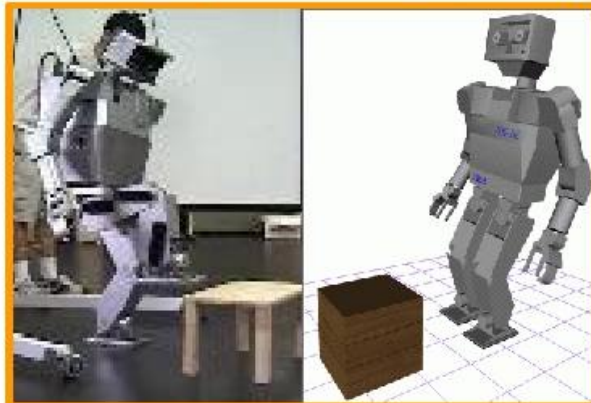
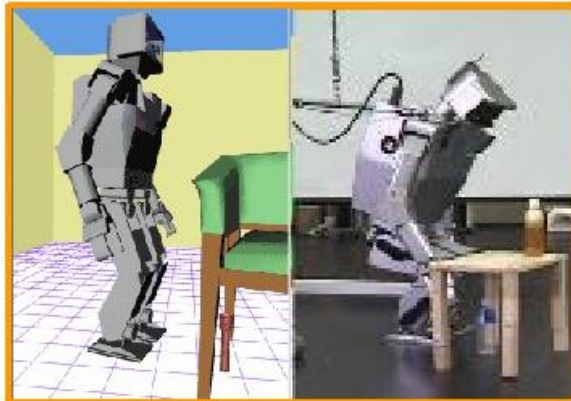
Anwendung: Layoutplanung

Bahnplanung kombiniert mit Optimierungungsverfahren liefert optimale Platzierung von Robotern sowie anderen Geräten auf einer Arbeitszelle



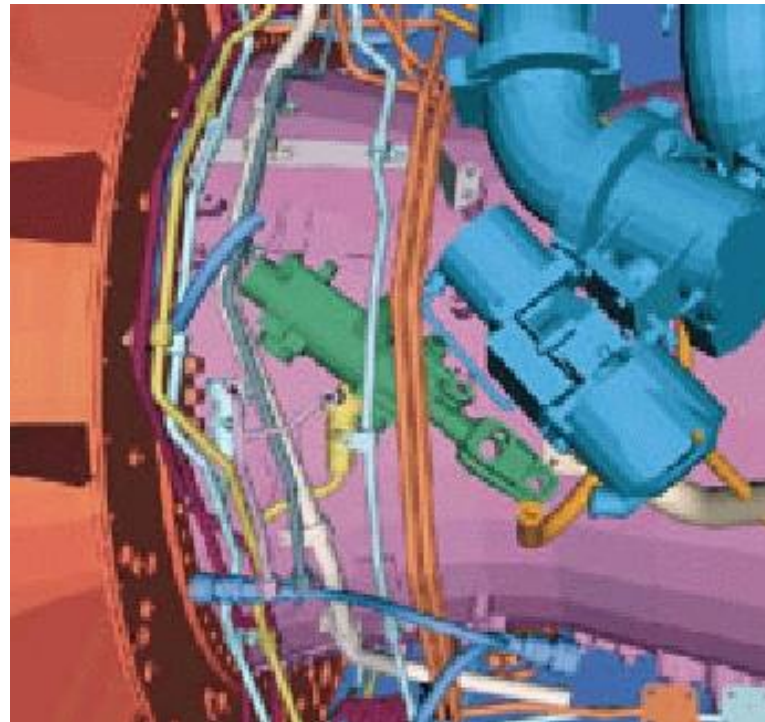
Anwendung: Humanoid

[Kuffner and Inoue, 2000] (U. Tokyo)

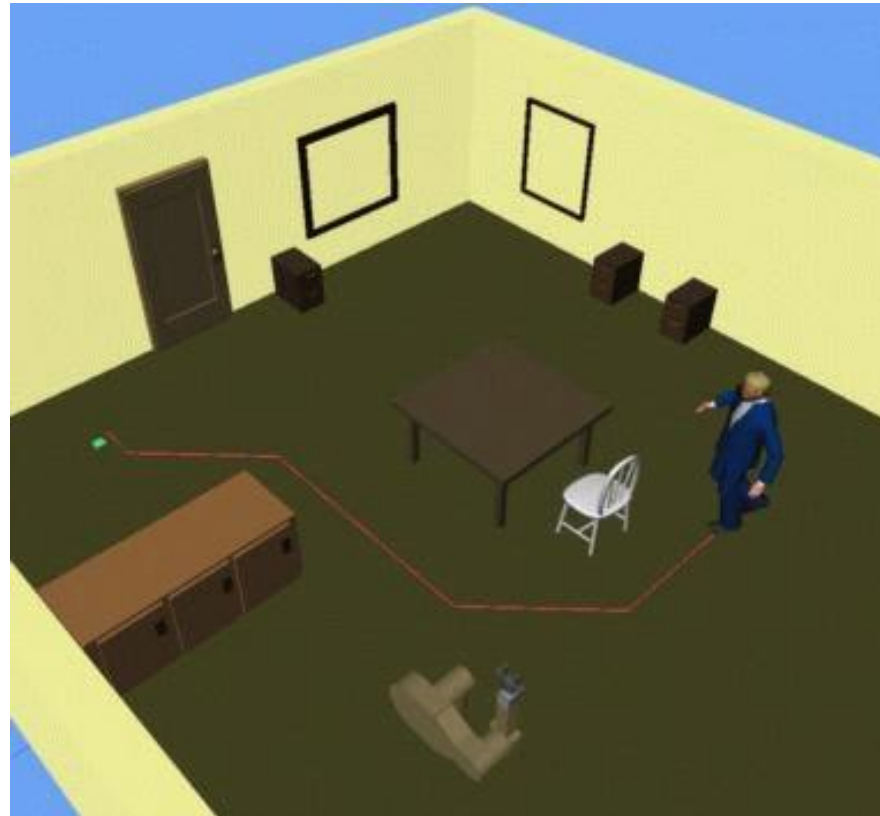


Anwendung: Triebwerkswartung

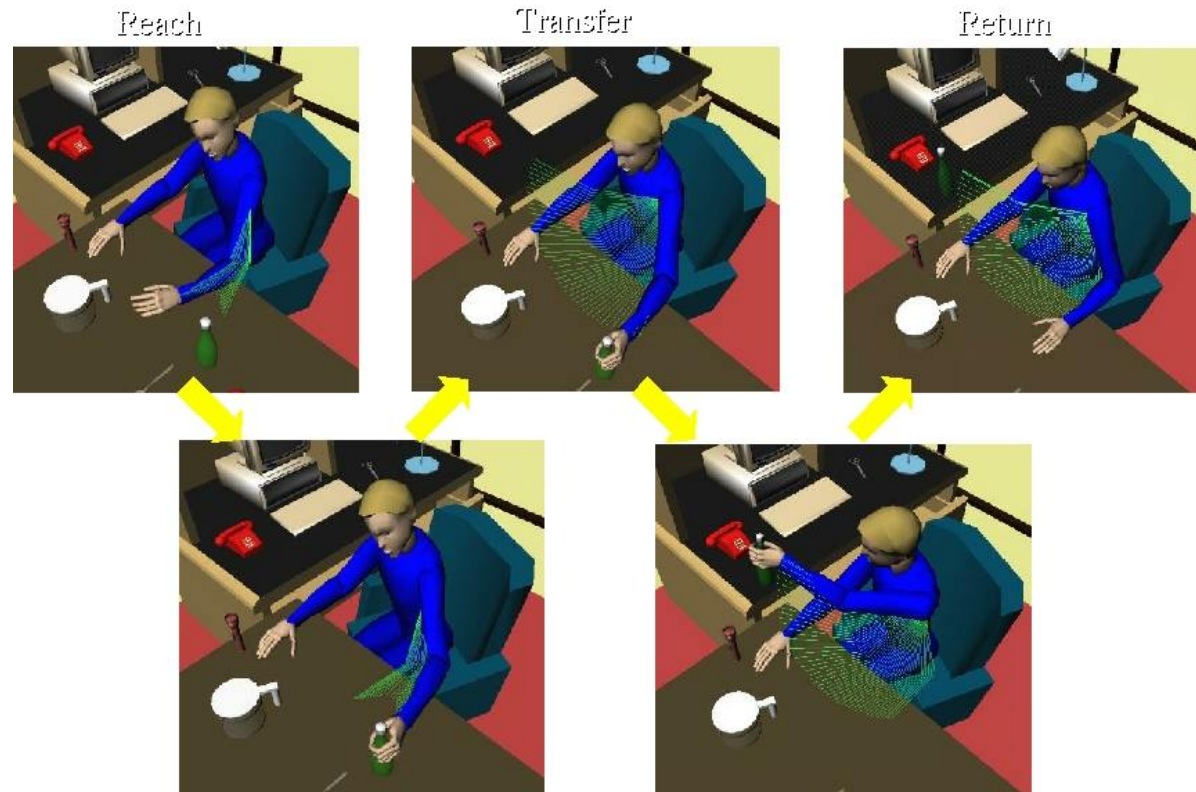
Ein Bahnplaner kann benutzt werden um die Demontagemöglichkeit automatisch zu prüfen. Dadurch können die Produkte leichter und einfacher gewartet und repariert werden.



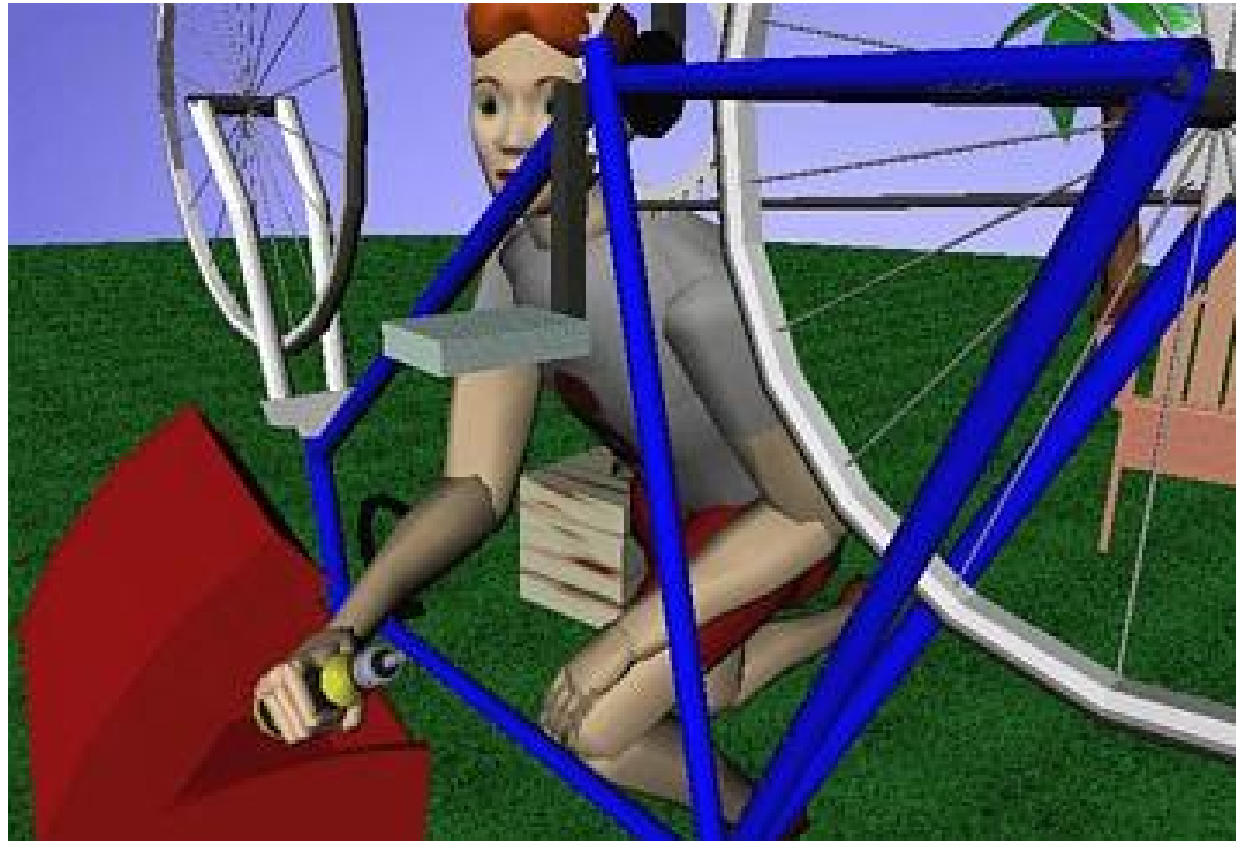
Animation über Aufgabenorientierte Programmierung



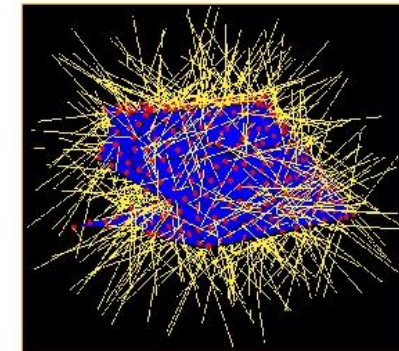
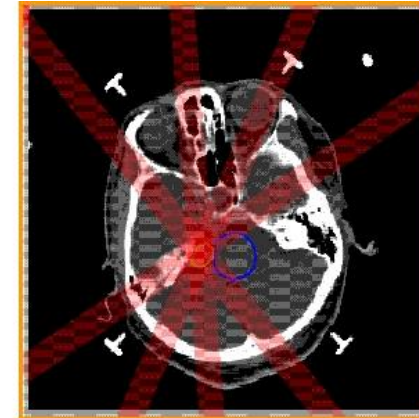
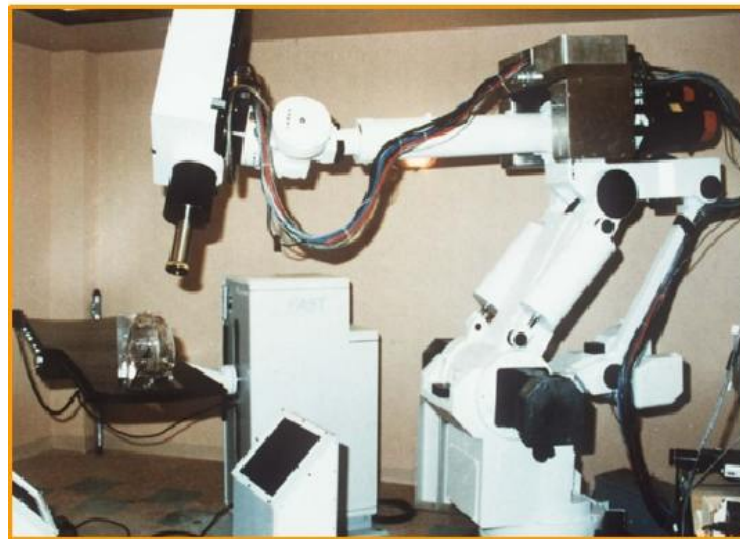
Anwendung: Animation über Manipulationsskripte



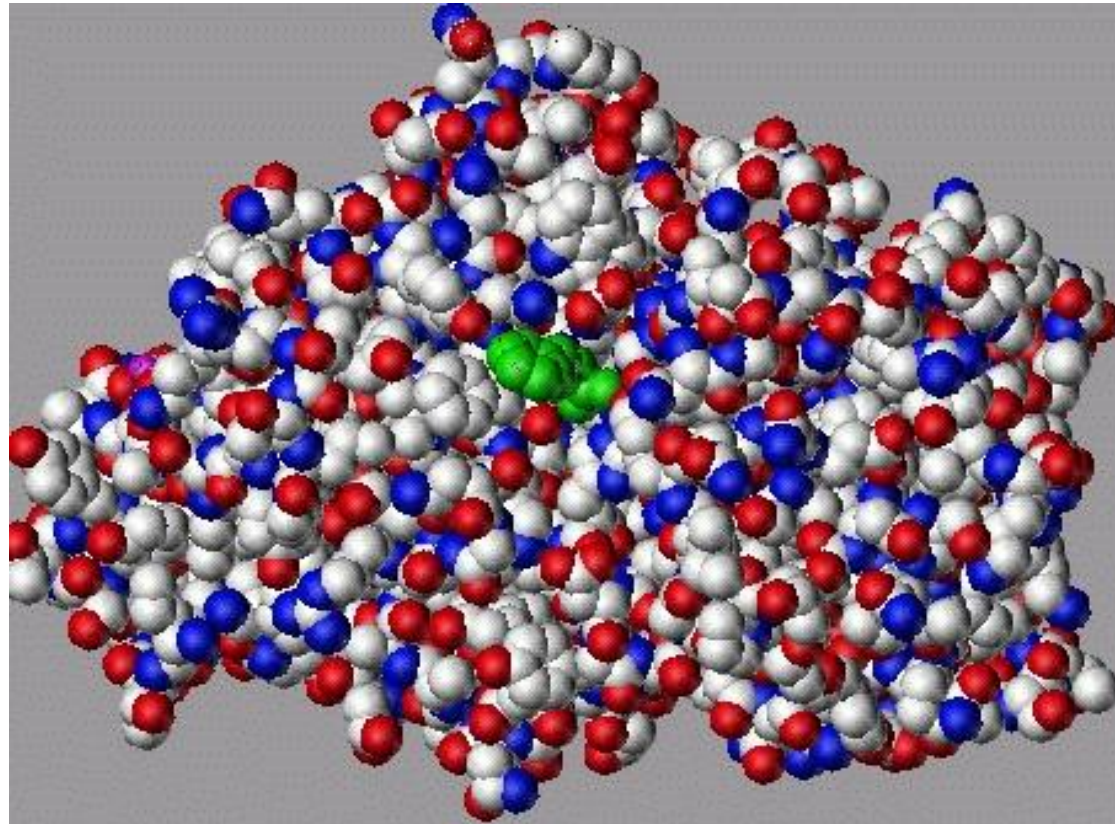
Anwendung: Animation als Simulation



Anwendung: Planung der Strahlungstherapie



Anwendung: Generierung von Andockbewegungen von

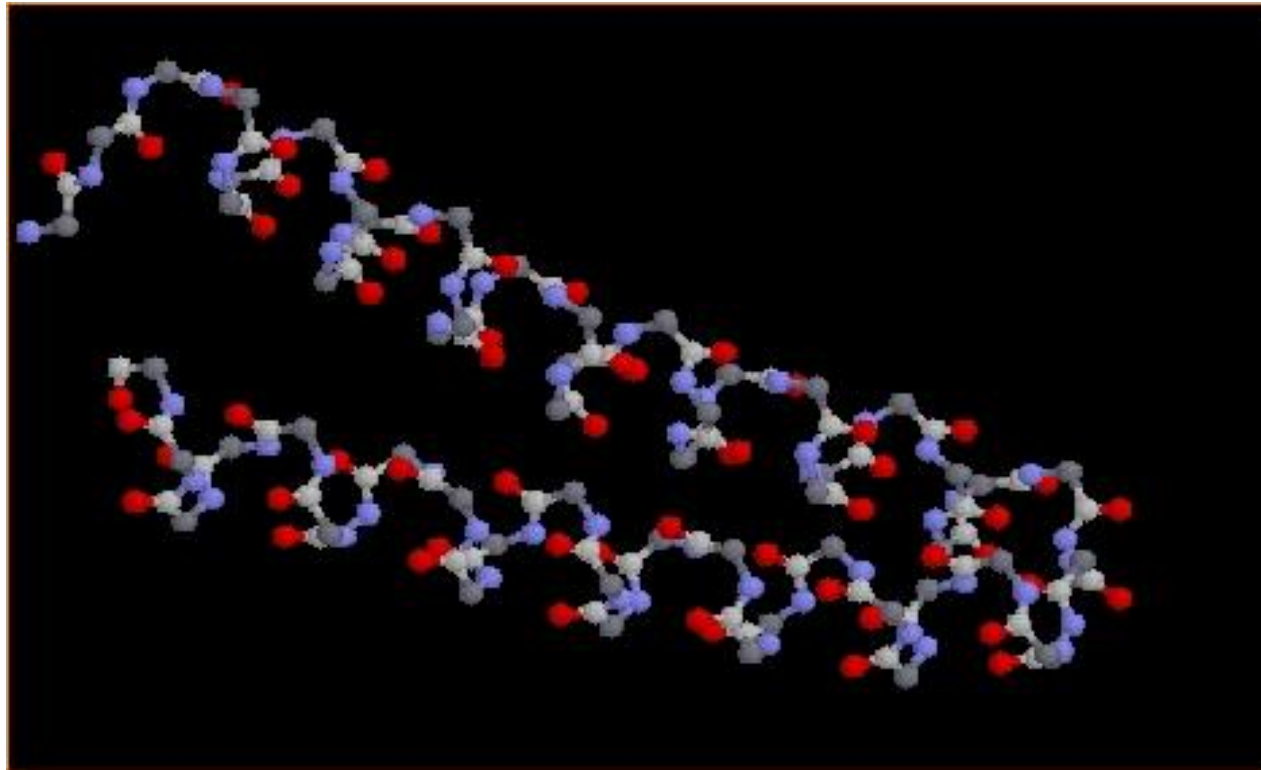


Erweiterungen des Basisproblems

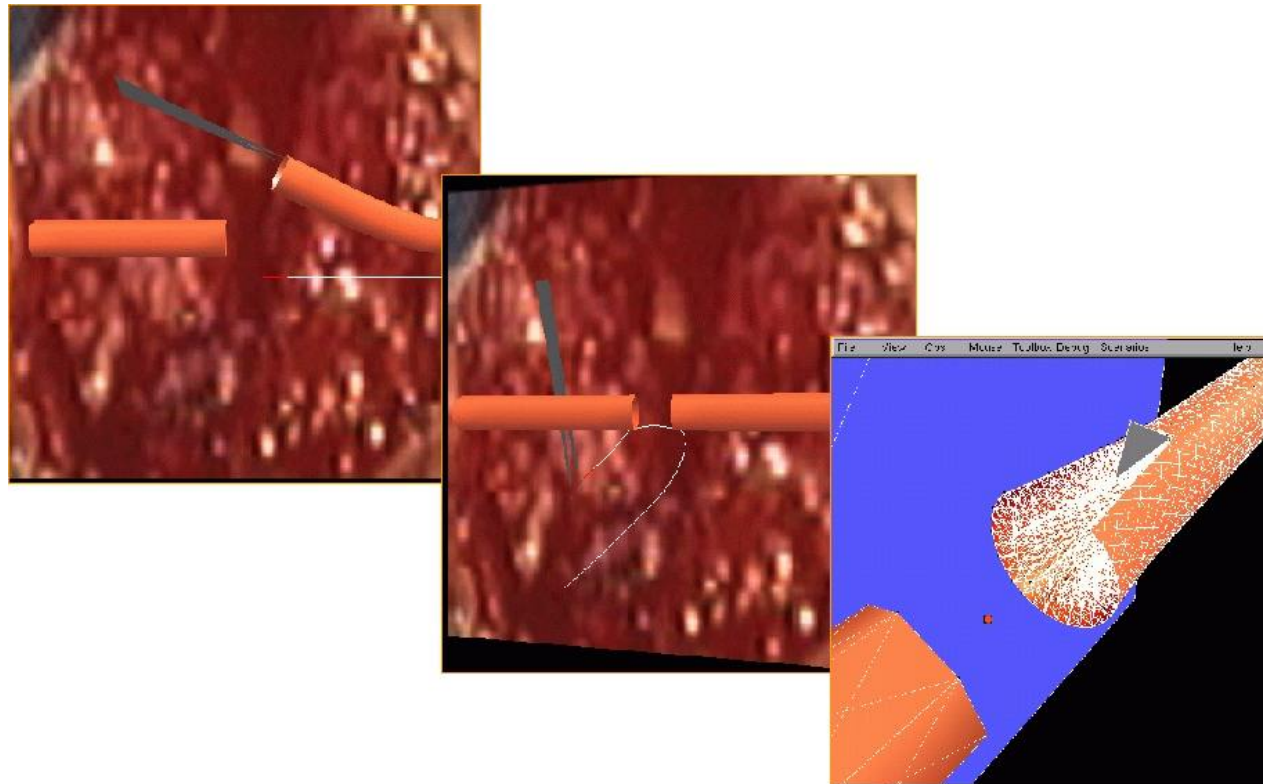
- bewegliche Hindernisse
- mehrere sich bewegende Objekte
- deformierbare Objekte
- nicht spezifizierte Ziele
- nicht holonome Randbedingungen
- dynamische Randbedingungen
- zeitoptimale Planung
- unsichere Wahrnehmung und Planausführung
- hochkomplexe Artefakte

Neue Anwendungen: Protein-Falten

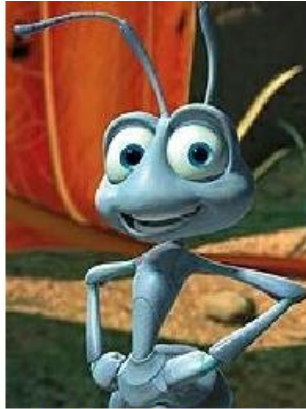
Behandlung von über 1000 Freiheitsgraden:



Planung einer minimalen invasiven Chirurgie bei weichen Objekten



Autonome virtuelle Schauspieler



A Bug's Life (Pixar/Disney)



Toy Story (Pixar/Disney)



Antz
(Dreamworks)



Tomb Raider 3 (Eidos Interactive)



The Legend of Zelda (Nintendo)



Final Fantasy VIII (SquareOne)

Zusammenfassung

- Die explizite Repräsentation des Konfigurationsraums bietet eine vollständige Lösung bei ausreichender Genauigkeit, ist aber nur eingeschränkt anwendbar. Der verteilte probabilistische Ansatz ist praktisch bei einer großen Anzahl von Freiheitsgraden.
- Die Bahnplanung stammt aus der Robotik, findet aber z.Z. breite Anwendung in vielen anderen Bereichen: Fertigung, Virtuelle Realität, Animation, Video-Spiele, Biologie, Chemie, usw.
- Simulierte Umgebungen erfüllen genau die Voraussetzung der geometrischen Bahnplanung: bekannte Umweltmodelle, spezifizierbare Start- und Zielkonfiguration und ideale Ausführung. Die rapide Erhöhung der Rechengeschwindigkeit ermöglicht Echtzeit-Anwendungen.
- Reale Roboter werden mit vielen Unsicherheiten in der realen Welt

konfrontiert. Die Erweiterungen des Basisproblems erfordern weitere Untersuchungen.

- Embedded-Systeme werden über immer mehr on-board Rechenleistungen verfügen. Modellierung und Berechnung von Bewegungen der intelligenten Geräte werden weitere Forschungsfelder erschließen.